

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Inventor: **Thilo Stolze**

Serial No.:

Filed: **February 27, 2004**

Title: **Power Semiconductor Module**

§ Group Art Unit:

§

§ Examiner:

§

§ Attorney Docket No: **074313.0105**

§

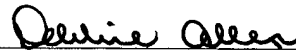
§ Client Ref.: **EUP041US**

§

CERTIFICATE OF MAILING VIA EXPRESS MAIL

PURSUANT TO 37 C.F.R. § 1.10, I HEREBY CERTIFY THAT I HAVE INFORMATION AND A REASONABLE BASIS FOR BELIEF THAT THIS CORRESPONDENCE WILL BE DEPOSITED WITH THE U.S. POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE, ON THE DATE BELOW, AND IS ADDRESSED TO:

MAIL STOP PATENT APPLICATION
COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. BOX 1450
ALEXANDRIA, VA 22313-1450



EXPRESS MAIL LABEL: EV339227739US
DATE OF MAILING: FEBRUARY 27, 2004

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

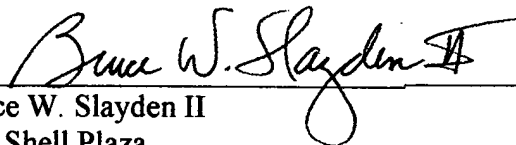
SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Dear Sir:

We enclose herewith a certified copy of German patent application DE 101 42 971.1 which is the priority document for the above-referenced patent application.

Respectfully submitted,
BAKER BOTTS L.L.P. (023640)

Date: February 27, 2004

By: 
Bruce W. Slayden II
One Shell Plaza
910 Louisiana Street
Houston, Texas 77002-4995
Telephone: 713.229.1786
Facsimile: 713.229.7886
ATTORNEYS FOR APPLICANTS

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 42 971.1

Anmeldetag: 01. September 2001

Anmelder/Inhaber: eupec Europäische Gesellschaft für
Leistungshalbleiter mbH & Co KG,
59581 Warstein/DE

Bezeichnung: Leistungshalbleitermodul

IPC: H 01 L 23/36

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. Februar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Dzierzon

Beschreibung

Leistungshalbleitermodul

- 5 Die Erfindung betrifft ein Leistungshalbleitermodul mit mehreren Halbleiterbauelementen, die sich auf einem Substrat befinden.

Bei einem derartigen, aus der DE 199 42 915 A1 hervorgehenden
10 Leistungshalbleitermodul sind auf der Oberseite eines isolierenden und thermisch leitenden Trägers (Substrat) mehrere Leistungshalbleiter in einer Reihe eng benachbart angeordnet. Diese sind über auf derselben Oberseite ausgebildete metallische Leiterbahnen mittels Kontaktflächen elektrisch verbunden
15 und auf diesem Wege ansteuerbar.

Die ebenfalls metallische, beispielsweise kupferbeschichtete, Unterseite des Substrats wird durch elektrisch leitende Druckstücke auf einen Kühlkörper gepresst. Darüber werden die
20 bei Betrieb des Leistungshalbleitermoduls in Form von Wärme auftretenden Verlustleistungen abgeführt. Um eine effektive Wärmeabfuhr bzw. einen geringen Wärmeübergangswiderstand und damit einen sicheren und zuverlässigen Betrieb des Leistungshalbleitermoduls zu gewährleisten, muss der Kühlkörper flächig und spaltfrei an der Substratunterseite anliegen.
25

Problematisch sind dabei die durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten und geringe Biegesteifigkeit der verschiedenen Modulkomponenten (z.B. von Substrat und Halbleitermaterial) bedingten mechanischen Spannungen innerhalb des
30 Moduls. Innere Spannungen können auch aus dem Hochtemperatur-Herstellungsprozess eines Leistungshalbleitermoduls resultieren und sich durch nachfolgende Lötsschritte noch verstärken.

Mechanische Spannungen und/oder die geringe Biegesteifigkeit können dabei zu unerwünschten Verformungen oder Durchbiegungen an der Substrat- bzw. Modulunterseite führen. Es ist dann
5 eine gleichmäßig ebene Kontaktfläche nicht mehr gewährleistet, da durch die infolge der Verformungen entstehenden Zwischenräume und Luftspalte die Wärmeübertragung zwischen Kühlelement und Kühlung beeinträchtigt wird. Die genannten Effekte sind besonders dort nicht kompensierbar, wo das Substrat
10 nicht unmittelbar oder nur unzureichend auf den Kühlkörper gedrückt wird wie beispielsweise bei Randbefestigung in der Modulmitte, da dort die Durchbiegung (Wölbung) am größten ist. Der Effekt tritt zudem umso stärker in Erscheinung, je größer das Modul ist. Die Größe des Moduls steigt wiederum
15 mit der Leistung.

Zur Lösung dieser Problematik ist es denkbar, ein zusätzliches Metallteil - z.B. eine Kupferplatte - als Bodenplatte vorzusehen, mit der die Substratunterseite fest verbunden,
20 z.B. verlötet, ist. Bestehende Formabweichungen würden dann durch die zwischenliegende Lotschicht ausgeglichen. Die Bodenplatte wäre dann mit ihrer Unterseite mit dem Kühlkörper verbunden und dient sowohl einer gleichmäßigen Wärmeverteilung (als sogenannter „Heat Spreader“) als auch zur Aufnahme
25 von mechanischen Spannungen.

Allerdings erhöht diese Konstruktion durch die zusätzliche Bodenplatte und deren Montage die Gesamtkosten eines so ausgestalteten Leistungshalbleitermoduls.

30 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstig herstellbares Leistungshalbleitermodul mit einem zufriedenstellenden thermischen Kontakt zu einem Kühl-

element zu schaffen, das ohne zusätzliche Bodenplatte auskommt.

Diese Aufgabe wird bei einem Leistungshalbleitermodul der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Substrat mehrere Substratbereiche aufweist und dass sich zwischen Substratbereichen ein oder mehrere Verbindungsbereiche befinden, über die die Substratbereiche relativ-beweglich zueinander verbunden sind.

Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Anordnung der Halbleiterbauelemente und ggf. weiterer Bauelemente nicht auf einem einzigen, einstückigen Substrat erfolgt, sondern auf mehrere Substratbereiche (Teilsubstrate) verteilt ist. Dadurch kann jedes einzelne Teilsubstrat besser an die Kühlfläche angedrückt und somit besser gekühlt werden.

Darüber hinaus erfährt jedes einzelne Teilsubstrat infolge der zuvor beschriebenen temperaturbedingten Spannungen und Wärmeeffekte zwar ebenfalls eine Verformung, die aber wesentlich geringer ist als die Verformung eines flächenentsprechenden einzigen Gesamtsubstrats wäre. Mit anderen Worten: Die z.T. unvermeidliche Deformation wird auf mehrere Teilsubstrate und damit entsprechend auf kleinere Teildeformationen aufgeteilt, deren absolutes Verformungsmaxima wesentlich geringer ist.

Substrate werden mit zunehmender Größe bruch- und beschädigungsempfindlicher. Ein Vorteil der Erfindung besteht daher zudem darin, dass das erfindungsgemäße Leistungshalbleitermodul mit seinen mehreren individuellen Substratbereichen me-

chanisch wesentlich robuster ist. Dies erhöht vorteilhafterweise die Ausbeute im Fertigungs- und Montageprozess.

Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die mit Halbleiterbauelementen bestückten einzelnen Substratbereiche individuell vorab getestet und bei Defekt ersetzt werden können. Damit kann der Ausschuss an fertigen Modulen kostengünstig minimiert werden.

Damit einher geht eine weitere Erhöhung der Ausbeute, weil bei fehlerhaften Substratbereichen nicht notwendigerweise das gesamte zu einem Leistungshalbleitermodul gehörende Substratmaterial, ggf. mit den bereits montierten Bauelementen, verworfen werden muss.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Erfindung ist darin zu sehen, dass die Substratbereiche über einen oder mehrere Verbindungsbereiche relativ beweglich zueinander verbunden sind. Der jeweilige Verbindungsbereich weist eine höhere mechanische Verformbarkeit (Elastizität) auf als das Substrat üblicherweise aufweist. Damit sind quasi Scharniere oder gelenkige Bereiche zwischen den Substratbereichen gebildet. Die Verbindungsbereiche verhindern, dass sich die Substratbereiche im angrenzenden Substratbereiche gegenseitig mechanisch beeinflussen.

An jedem Verbindungsbereich besteht darüber hinaus die Möglichkeit, eine Korrektur in der Ausrichtung der individuellen Substratbereiche in der Weise vorzunehmen, dass sich die Deformation minimiert und sich somit eine ebene Kontaktfläche des Leistungshalbleitermoduls bildet, die einen optimierten Wärmeübergang zu einem anzuschließenden Kühlkörper schafft.

Eine vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Halbleitermoduls sieht vor, dass die Verbindungsbereiche durch Ausnehmungen in dem Material des Substrats gebildet sind. Dies stellt eine fertigungstechnisch besonders einfache Möglichkeit dar, Verbindungsbereiche mit erhöhter Beweglichkeit oder Verformbarkeit zu schaffen. Die Ausnehmungen können beispielsweise als Perforation ausgebildet sein.

Fertigungstechnisch besonders bevorzugt ist es, wenn die Materialausnehmungen schlitzförmig sind.

Bevorzugt kann das Substrat aus Keramik bestehen. Dies erlaubt eine hervorragende elektrische Isolation der darauf montierten Halbleiterbauelemente und elektrischen Verbindungen bei guter Wärmeableitung über die Keramik zum Kühlkörper. Zwischen Substrat und Kühlkörper kann dabei eine Wärmeleitpaste eingebracht sein.

Um eine besonders gute Wärmeleitung zu einem an der Montagefläche (Unterseite) des Leistungshalbleitermoduls anzuschließenden Kühlelement zu gewährleisten, ist bevorzugt vorgesehen, dass das Leistungshalbleitermodul ein Gehäuse aufweist, das Einwirkungsstellen für eine mechanische Druckbeaufschlagung der Verbindungsbereiche vorsieht.

Dabei können die Einwirkungsstellen z.B. Senkungen im Gehäuse sein, die einen Durchgriff äußerer mechanischer Druckmittel (z.B. Spannschrauben) zur Substratebene hin ermöglichen. Es können aber auch innerhalb des Gehäuses Druckstege vorgesehen sein, die von außen auf das Gehäuse einwirkende Druckkräfte zu den Einwirkungsstellen weiterleiten.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand einer Zeichnung näher erläutert; es zeigen schematisch:

Figur 1: ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemä-
5 ßen Leistungshalbleitermoduls im Querschnitt,

Figur 2: das Substrat des Leistungshalbleitermoduls aus
Figur 1 in Aufsicht,

Figur 3: ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsge-
mäßes Leistungshalbleitermoduls im Querschnitt und

10 Figur 4: das Substrat des Leistungshalbleitermoduls aus
Figur 2 in Aufsicht.

Das in Figur 1 gezeigte Leistungshalbleitermodul 1 umfasst ein Keramik-Substrat (Trägerelement) 2, das in mehrere Sub-
15 stratbereiche (Teilsubstrate) 3, 4 und 5 segmentiert ist und quasi drei Segmente S aufweist (Figur 2). Auf den Substratbereichen 3, 4 und 5 sind Halbleiterbauelemente 6, 7 und 8 angeordnet, die alle Bestandteile des Gesamtmoduls 1 sind. Die Halbleiterbauelemente sind über angedeutete Bonddrähte mit
20 nicht näher dargestellten Leiterbahnen kontaktiert, die auf der jeweiligen Oberfläche 12, 13, 14 der Teilsubstrate ausgebildet sind. Die Leiterbahnen verschiedener Teilsubstrate können miteinander über Bonddrähte elektrisch verbunden sein. Die Leiterbahnen führen zu Kontaktstiften (Anschlusspins) 16,
25 17, 18 zum externen Anschluss des Leistungshalbleitermoduls. Die Halbleiterbauelemente 6, 7 und 8 können Leistungshalbleiter sein, die hohe in Wärme umgesetzte Verlustleistungen entwickeln und deshalb eine effektive Wärmeableitung erfordern.

30 Das Halbleitermodul umfasst ferner ein Modulgehäuse 20, das im Kunststoffspritzgussverfahren hergestellt ist. Die Rückseiten 22, 23, 24 der Teilsubstrate 3, 4, 5 bilden Teilflächen der Modulunterseite 25, die zum thermischen Kontakt mit einem Kühlkörper 28 möglichst eben ausgebildet ist und auf
35 die beispielsweise mit einer Wärmeleitpaste aufgebracht ist. Zur ebenen Ausbildung dient die Verwendung mehrerer Teilsubstrate. Würde nur ein einziges Substrat verwendet, auf dem

alle Halbleiterbauelemente anzuordnen wären und das dementsprechend die Gesamtmontagefläche aller Teilsubstrate aufweisen müsste, würden zum einen innere, aus schon im Herstellungsprozess aufgetretenen thermischen Belastungen resultierende mechanische Spannungen erheblichen Einfluss ausüben und zum anderen kein zufriedenstellender thermischer Kontakt erzielt und damit die Kühlung des Substrats sicher gestellt werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Halbleitermodul führen diese Spannungen nur zu geringen Deformationen und Verformungen, weil sie sich auf mehrere Teilsubstrate verteilen und wegen der geringeren absoluten Ausdehnung des individuellen Teilsubstrats jeweils nur vergleichsweise geringen Einfluss haben.

Das Substrat 2 weist neben den Substratbereichen 3, 4, und 5 zwischen den Substratbereichen ausgebildete Verbindungsbereiche 30 und 31 auf (vgl. auch Figur 2). Die Substratbereiche 3 und 4 sind z.B. über den Verbindungsbereich 30 relativ beweglich zueinander verbunden. Der Verbindungsbereich 30 fungiert quasi als Gelenk oder Scharnier, so dass die Substratbereiche 3 und 4 unter Einschluss eines von 180° verschiedenen Winkels (Korrekturwinkel) auch zueinander ausgerichtet werden können. Damit wird beispielsweise verhindert, dass sich eine Verformung des Substratbereichs 3 in den Substratbereich 4 fortsetzt. Ist beispielsweise der Substratbereich 3 gegenüber der Horizontalen H um einen Winkel α (in Figur 1 stark vergrößert und übertrieben dargestellt) durch Verformungen infolge thermisch induzierter Spannungen verkippt, kann durch entsprechendes gegensinniges Verkippen des Substratbereichs 4 eine Fortpflanzung dieses Winkels α in den Substratbereich 4 hinein vermieden und die Verkipfung durch eine gegengleiche Verkipfung sogar kompensiert werden. Damit wird eine weitestgehend von infolge thermisch induzierter Spannungen auftretenden Verformungen freie Modulunterseite 25 als Kontaktfläche des Leistungshalbleitermoduls geschaffen.

Die Verbindungsbereiche 30 und 31 sind nach Figur 2 beispielsweise von in das Material des Ausgangssubstrats eingebrachten Schlitten 33, 34 gebildet. Es sind aber auch andere geometrische Formen und Ausgestaltungen der Verbindungsbereiche denkbar, die in gleicher Weise eine gegenüber dem Ausgangssubstrat erhöhte Flexibilität der Verbindungsbereiche bewirken.

Das Gehäuse 20 weist Zugangsbereiche 35, 36 auf, durch die z.B. durch äußere Klammern oder Verschraubungen mechanischer Druck (durch Pfeile P symbolisiert) unmittelbar auf die Verbindungsbereiche 30, 31 ausgeübt werden kann, um das Substrat insgesamt homogen auf den Kühlkörper 28 zu pressen. Weiterer mechanischer Anpressdruck kann wie durch weitere Pfeile P angedeutet an Andruckpunkten AP in den Randbereichen des Leistungshalbleitermoduls aufgebracht werden.

Figur 3 zeigt schematisch eine Variante eines erfindungsgemäßen Leistungshalbleitermoduls 101 im Querschnitt. Danach bilden mehrere bestückte und in Figur 1 bereits ausführlich beschriebene Substratbereiche (Teilsubstrate) 103, 104, 105 Segmente S eines Substrats 102 (vgl. Figur 4). Die Leiterbahnen verschiedener Teilsubstrate können miteinander über Bonddrähte 108, 109 elektrisch verbunden sein. Auch hier bilden die Unterseiten der Substratbereiche Teilflächen der Modulunterseite 125, die zum thermischen Kontakt mit einem Kühlkörper 128 eben ausgebildet ist.

Verbindungsbereiche 130 und 131 sind nach Figur 4 von in das Material des Ausgangssubstrats eingebrachten Schlitten 133, 134 gebildet. Das Gehäuse 120 weist Zugangsbereiche 135, 136 auf seiner Oberseite 140 auf. Auf diese Zugangsbereiche 135, 136 z.B. durch äußere Klammern oder Verschraubungen aufgebracht mechanischer Druck (durch Pfeile P angedeutet) wird durch gehäuseinterne Stempel oder vertikale Brücken 150, 151 auf die Verbindungsbereiche 130, 131 übertragen. Dadurch wird das Substrat 101 insgesamt sehr homogen auf den Kühlkörper

128 gepresst. Weiterer mechanischer Anpressdruck kann wie durch weitere Pfeile P angedeutet an Andruckpunkten AP in den Randbereichen des Leistungshalbleitermoduls aufgebracht werden.

Patentansprüche

1. Leistungshalbleitermodul (1) mit mehreren Halbleiterbauelementen (6, 7, 8), die sich auf einem Substrat (2) befinden,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Substrat (2) mehrere Substratbereiche (3, 4, 5) aufweist und
- sich zwischen Substratbereichen (3, 4, 5) ein oder mehrere Verbindungsbereiche (31, 32) befinden, über die die Substratbereiche (3, 4, 5) relativ-beweglich zueinander verbunden sind.

2. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Verbindungsbereiche (31, 32) durch Ausnehmungen in dem Material des Substrats (2) gebildet sind.

3. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Materialausnehmungen (33, 34) schlitzförmig sind.

4. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, 2 oder 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Substrat (2) eine Keramik ist.

5. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Leistungshalbleitermodul (1) ein Gehäuse (20) aufweist, das (31, 32) Einwirkungsstellen (35, 36) für eine mechanische Druckbeaufschlagung der Verbindungsbereiche vorsieht.

Zusammenfassung

Leistungshalbleitermodul

- 5 Das Leistungshalbleitermodul (1) umfasst mehrere Halbleiterbauelemente (6, 7, 8), die sich auf einem Substrat (2) befinden.

- Um einen infolge von Deformationen auftretenden Abnahme des
10 Drucks des Substrats gegen eine Kühlfläche und somit eine Abnahme der Kühlung des Substrats zu verhindern, ist vorgesehen, dass das Substrat (2) mehrere Substratbereiche (3, 4, 5) aufweist und dass sich zwischen Substratbereichen (3, 4, 5) ein oder mehrere Verbindungsbereiche (31, 32) befinden, über
15 die die Substratbereiche (3, 4, 5) relativ-beweglich zueinander verbunden sind.

Figur 1

• Bezugszeichenliste:

	1	Leistungshalbleitermodul 1
	2	Keramik-Substrat
5	3, 4, 5	Substratbereiche (Teilsubstrate)
	6, 7, 8	Halbleiterbauelemente
	12, 13, 14	Oberfläche
	16, 17, 18	Kontaktstifte (Anschlusspins)
	20	Modulgehäuse
10	22, 23, 24	Rückseiten
	25	Modulunterseite
	28	Kühlkörper
	30, 31	Verbindungsbereiche
	35, 36	Zugangsbereiche
15	33, 34	Schlitze

	101	Leistungshalbleitermodul
20	102	Substrat
	103, 104, 105	Substratbereiche (Teilsubstrate)
	108, 109	Bonddrähte
	120	Gehäuse
	125	Modulunterseite
25	128	Kühlkörper
	130, 131	Verbindungsbereiche
	133, 134	Schlitze
	135, 136	Zugangsbereiche
	140	Oberseite
30	150, 151	Stempel

	S	Segment
	H	Horizontalen
35	α	Winkel
	P	Pfeile
	AP	Andruckpunkten

